

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-88378

(P2000-88378A)

(43)公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

F 25 B 9/00

識別記号

3 1 1

F I

F 25 B 9/00

テーマコード(参考)

Z

3 1 1

審査請求 有 請求項の数8 O.L (全8頁)

(21)出願番号 特願平10-270291

(22)出願日 平成10年9月24日 (1998.9.24)

(31)優先権主張番号 特願平10-204011

(32)優先日 平成10年7月17日 (1998.7.17)

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 595000793

株式会社移動体通信先端技術研究所  
愛知県日進市米野木町南山500番地1

(72)発明者 萩原 康正

愛知県日進市米野木町南山500番地1 株  
式会社移動体通信先端技術研究所内

(72)発明者 伊東 正篤

愛知県日進市米野木町南山500番地1 株  
式会社移動体通信先端技術研究所内

(72)発明者 矢崎 太一

愛知県岡崎市竜美南2-3-1

(74)代理人 100072604

弁理士 有我 軍一郎

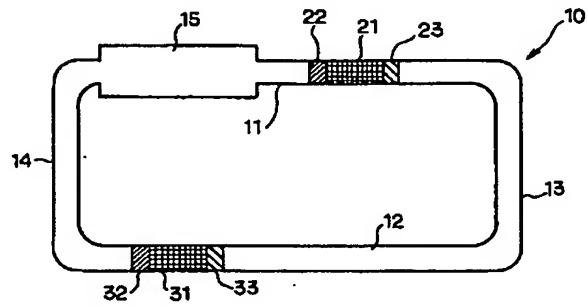
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ループ管気柱音響波動冷凍機

(57)【要約】

【課題】 冷凍機の冷凍が実質的に可能な、圧力振動の大きな定在波及び進行波を発生せしめ得る自励的発振装置とこれらの波を利用したループ管気柱音響波動冷凍機を開発すること。

【解決手段】 気体を封入した配管10に、高温側熱交換器22及び低温側熱交換器23に挟まれたスタック21を挿入し、更にスタックと非対称の位置に蓄冷器31を高温側熱交換器32及び低温側熱交換器33と共に配置して回路を形成し、スタックにおいて封入気体から自励的に発生する定在波及び進行波を配管を通じて伝播せしめて、蓄冷器31を蓄冷・冷凍すると同時に、円滑な放熱を行う装置である。従って、圧縮機等を用いることなく、作業ガスの圧力変動を生じさせ得るので、メンテナンスが不要な熱音響作用によるループ管気柱波動冷凍を提供できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一の高温側熱源及び一の低温側熱源に挟まれたスタックと、他の高温側熱源及び他の低温側熱源に挟まれた蓄冷器と、一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管と、により形成される回路に気体を封入し、前記スタックにおいて前記封入気体に定在波及び進行波を自励的に発生させて前記蓄冷器を冷却せしめてなるループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項2】一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管において、該連結管が直線部分を有する形状からなる請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項3】一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管において、スタックと蓄冷器との間の配管の一部が他の部分に較べてその内径を大きくなしたことを特徴とする請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項4】直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、スタックの中心が回路全長の0.28±0.05の位置となるように該スタックを配することを特徴とするループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項5】回路全長を1.00とするとき、回路に沿った封入気体の圧力変動が、スタックの近傍に第1のピークがあり、更に回路全長の約1/2(回路全長の約0.50)進んだ位置に第2のピークがある場合に、請求項1に記載の蓄冷器の中心が該第2ピークを過ぎた位置となるように該蓄冷器を設けることを特徴とするループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項6】回路に封入する気体が、窒素、ヘリウム、アルゴン、ヘリウムとアルゴンとの混合物、又は加圧空気から選ばれた気体である請求項1乃至5のいずれかであるループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項7】スタックの材質がセラミックス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも1種からなり、その $\omega_T$ が0.2~2.0の範囲と成るように構成されたことを特徴とするループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項8】高温側熱源と低温側熱源とに基づく熱エネルギーを、回路に封入された気体の圧力振動に変換するスタックによって、自励的に、前記回路の回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む圧力振動(共鳴)を発生せしめ得る定在波及び進行波発生装置を、要すれば蓄冷器と共に、備えてなるループ管気柱音響波動冷凍機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、所定の気体(作業ガス)を充填した配管の回路内部ループで熱音響効果に

より、配管を含む熱音響冷凍回路に共鳴(圧力振動)をもたらし、発生した進行波等を利用して回路に設けた蓄冷器を冷却せしめるループ管気柱音響波動冷凍機に関する。

## 【0002】

【従来の技術】熱の影響により音響が生じ得ることは、例えばガラス吹き工により熱い球状ガラスを冷たいシステムの先端に取り付けた際に音がでる現象として古くから知られており、これは「Soundhauss tube」と呼ばれる

10 丸底フラスコ状のガラス容器の底部に熱を加えると熱音響効果によりそのガラス管から音が発せられることで確認され、また、そのガラス管の内部に多孔又は多層状の狭い空間を形成するスタックを挿入することにより、上記の熱駆動による音響効果が高まることが確認されている。

【0003】一方、このような熱音響効果を利用して、容器の外部から与えた熱によって、容器内に予め充填された作業ガスに圧力振動(熱音響仕事)を生じさせ、この熱音響仕事を熱に転化させて冷却作用をなすようにしたビヤクーラー等の熱音響冷凍機も知られている(G.W. Swift "Thermoacoustic engines" 1988 Acoustical Society of America 第1147頁、FIG.3)。

【0004】ビヤクーラーは、一端が開口し他端が閉止された共鳴管の一端側に球状部を設ける一方、その共鳴管の途中に、それぞれスタックとその両側に位置する高温側及び低温側の熱交換器とからなる原動機及びヒートポンプを設け、その原動機によって共鳴管の共鳴周波数において内部の作動ガスに圧力振動(定在波)を自己励起(自励)させ、更に、その圧力振動を前記原動機とは逆向きに働くヒートポンプに与えてその低温側熱交換器によって冷却作用をなすようになっている。

【0005】また、セパレー(Ceperley)は、スターリングエンジンにそのピストンをなくすべく熱音響発生手段を設けるようにした進行波発生型の熱音響冷凍機を提案している。この冷凍機はループ状の配管の途中でその配管を対称に二分する中央位置に、スタックとその両側に位置する高温側及び低温側の熱交換器とからなる圧力振動発生手段としての原動機と、蓄冷器(再生式熱交換器)とその両側に位置する高温側及び低温側の熱交換器とを有し前記原動機とは逆向きに働くヒートポンプとを設け、前記原動機に高温の熱エネルギー供給を行なながら、前記ヒートポンプにより低温側から高温側熱交換器へと熱を汲み上げ、冷却作用を行わせることができる。

【0006】しかしながら、前述のCeperleyの提案を具現化する試みが成功したとの報告はない。加えて、このような進行波発生装置については理論的にも実際的にも発振しない旨の報告がアチレー(Atchley)によりなされおり(Third Joint Meeting, ASA and ASJ Dec, 1996 Honolulu, HI)、発振させることは不可能であるとの認識が学会においても広まりつつあった。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述のような熱音響効果を利用した冷凍機は、例えばAtchley等は円型又はそれに類する配管回路中の対称中心の位置に高温、低温の熱源を有する熱交換器ではさまれたスタックを挿入していたが、何れにおいても冷凍に強く寄与し得るような進行波を発生（発振）することができなかった。そのため、一般には、作動ガスの圧力を変動させるための手段として圧縮機が用いられているのが現状である。

【0008】しかしながら、ピストン式の圧縮機を用いた冷凍機では、可動部に対し定期的な部品交換等のメンテナンス作業が不可欠であり、冷凍機を長時間連続運転することができない。

【0009】これに対し、熱音響効果による圧力振動発生手段は、機械的な圧縮機や電磁弁等を用いることなく、作業ガスに正弦波状の圧力振動を発生させることができ、耐久性やコンパクト化といった面で有利である。ところが、現実には発振した例が未だになく、どのようにして発振可能な装置を創作するかが最大の課題であった。本発明は、上記従来の課題を解決すべくなされたもので、パルス管冷凍機等の冷凍に強く寄与する定在波及び進行波を発生することのできる、熱音響効果を利用でき、メンテナンスが実質的に不要な、耐久性に優れた波動冷凍機を提供するものである。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、高温側熱源と低温側熱源に基づく熱エネルギーを、回路に封入された気体の圧力振動に変換するスタックによって、自動的に、前記回路の回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む圧力振動（共鳴）を発生せしめ得る定在波及び進行波の発生装置を蓄冷器と共に備えてなるループ管気柱音響波動冷凍機である。従来技術の原動機やヒートポンプでは、冷凍作用に強く寄与できる定在波や進行波を発生させられなかったのであるが、本発明では、①スタックにおける自己励起発振の条件を発見し、これを応用したこと、

②スタックと蓄冷器とを非対称的に配置し、しかも配管において直線管部と連結管部とを設けて、封入気体の流れが直進及びほぼ直角に旋回する状態を造り、定在波及び進行波を発生し易く為したこと、

③プライムムーバー（原動機）を非等温的に動作させること、

によって、初めて実用性のあるループ管気柱音響波動冷凍機の開発に成功したものである。

【0011】以下に、個々の請求項について説明すると、まず、請求項1に係わる発明は、気体（作業ガス）を封入した配管に、高温側熱源及び低温側熱源に挟まれたスタックからなる定在波及び進行波の発生手段と、他の高温側熱源及び低温側熱源に挟まれた蓄冷手段と、を主たる構成とする音響波動冷凍機であって、スタックと

10

20

30

40

50

蓄冷手段とは所定の位置に、前記配管を介して接続されて作業ガスの回路を形成しており、スタック両端部に置かれた所定の温度差を生じせしめる熱源に基づき、作業ガスに与えられた熱エネルギーがスタックによって圧力に変換され、変動する圧力から自励的振動が生じる。振動（発振）は回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む。発生した進行波は、一の高温側熱源から回路中に進行し、他の高温側熱源を経て蓄冷器に到り、充分な冷凍作用を持つ進行波として音響波動冷凍機能をもたらす。次に、請求項2の発明は、一对の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一对の連結管部を有する配管において、該連結管を直線状の管部分を有する形状とすることにより、スタックに定在波が生じ易いように、配管の形状を特定したものである。安定した、冷凍に寄与する進行波を発生せしめるには、定在波の存在も不可欠であり、直線管部分と直線状の連結管部分とが直交する配管形状が音響波動冷凍機能に殊に有用である。また、請求項3の発明は、一对の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一对の連結管部を有する配管において、スタックと蓄冷器との間を繋ぐ配管の一部が他の部分に較べてその内径が大きいことを特徴とするものであって、このように、同一管路長のとき、径の太い部分を設けると、発振周波数を低くすることができる。このため冷凍に最適な発振周波数をより短い管路長で実現できる。管路長は、占有体積を支配する大きな要素であり、管路長の低減は奔発明冷凍機の小型化に強く寄与する。

【0012】更に、請求項4に記載の発明は、直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、スタックの中心が回路全長の回路全長の0.28±0.05の位置となるようにスタックを配置する。この条件と、スタックにおける高温側熱源及び低温側熱源のそれぞれの温度が適切であるとき、初めて効率のよい自励振動が生じる。加えて、請求項5の発明は、回路全長を1.00とするとき、回路に沿った封入気体の圧力変動が、スタックの近傍に第1のピークがあり、更に回路全長の1/2（回路全長の0.50）進んだ位置に第2のピークがある場合に、請求項1に記載の蓄冷器の中心位置を該第2ピークを過ぎた付近に設けることを特徴とするものであって、この条件を満たすとき、蓄冷器の配置が最適となり、冷却効率が一層高められる。

【0013】好ましい条件を示す請求項6の発明は、回路に封入する気体が、窒素、ヘリウム、アルゴン、ヘリウムとアルゴンとの混合物、又は空気を用いるものであり、その結果、冷凍機能が一層高められる。

【0014】請求項7に記載の発明は、スタックを形成する通気性多孔質物体或いは積層体の材質はセラミックス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも1種を、単独又は組み合せて、集積・積層して用いて、その

$\omega \tau$  が 0, 2 ~ 20 の範囲と成るように構成されたことを特徴とする。

【0015】請求項 8 に記載の発明は、高温側熱源と低温側熱源とに基づく熱エネルギーを、回路に封入された気体の圧力振動に変換するスタックによって、非等温的に、自励的に、前記回路の回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む圧力振動（共鳴）を発生せしめ得る進行波発生装置に関し、この発振装置を要すれば蓄冷器と共に備えることを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施の形態について添付図面を参照しつつ説明する。

【0017】図 1 は、本発明に係るループ管気柱音響波動冷凍機の一実施形態を示す図である。図 1 において、10 は配管を含む回路を示し、回路には所定の作業ガスとして窒素等の不活性ガス（気体）が封入されている。この作業ガスは常圧でも動作するが、例えば絶対圧 0.1 ~ 1.0 MPa 程度の加圧状態である。作業ガスは窒素、ヘリウム、アルゴン、ヘリウムとアルゴンとの混合物等が使用でき、特に、ヘリウムとアルゴンとを約 1 : 1 ~ 約 3 : 1 の容積比率で混合したものが冷凍効率を高めることができる。また、作業ガスによる進行波発生装置はピストンやバルブのような摩耗をもたらす部材の必要がないので、メンテナンスが実質的に不要なエンジンを形成する利点がある。配管に使用できる材料としては、例えばステンレス鋼からなる円形断面のもので、その配管全体の長手方向に延在する互いに平行な一対の長さ  $L_a$  の直線管部 11、12 と、これら直線管部 11、12 の両端部に連結する略平行な一対の長さ  $L_b$  の連結管部 13、14 と、を有している。更に、直線管部 15 の部分は、管径を太く構成している。この結果、後述するように、封入気体が自己励起により振動するとき、その周波数が（管径が一様のときに較べて）低くなる。低い周波数の発振の方が本発明の音響波動冷凍機では熱エネルギー的に有利である。

【0018】そして、一方の直線管部 11 の所定領域には、作業ガスに圧力変動を生じさせる原動機としての圧力振動発生手段が設けられている。この圧力振動発生手段は、直線管部 11 の軸線と平行で配管 10 内の通路 1 1 より狭い複数の平行通路を形成する所定長さのスタック 21 と、そのスタック 21 の図中左側に隣接して設けられた高温側熱交換器 22 と、スタック 21 の図中右側に隣接して設けられた低温側熱交換器 23 と、を有している。配管 10 は全体として略長方形に形成されており、配管 10 及びスタック 21 は所定の対象中心 ( $L_a / 2$  の位置で直線管部 11、12 と直交する面に相当する) に対して対称な非円形の回路を形成している。これに対し、スタック 21 の配設位置は、例えば長さ  $L_a$  の直線管部 11 において低温側の管部長さが一端から略  $L_a / 4$  ~ 約  $L_a / 3$  となり、高温側の管部長さが他端か

ら ( $3 / 4$ ) ·  $L_a$  ~ ( $2 / 3$ ) ·  $L_a$  となるよう片側に寄せた位置である。すなわち、スタック 21 は、配管 10 及びスタック 21 を含む作業ガスの回路（以下、単に回路という）の対象中心に対し片寄せて配置されている。なお、前記直線管部 11 の一端、他端とは、直線管部 11 の中心軸線と連結管部 13、14 の中心軸線との交点である。スタック 21 は、例えば多数の平行な平行通路を有するハニカム構造のセラミックからなるもの、多数枚のステンレス鋼メッシュ薄板が微小間隔（数百  $\mu$  m 程度）で配置されたもの、ステンレス鋼繊維を集合した不織布、あるいは、焼結金属等をケース内に充填して製作した狭い複数の通路を有するものであり、熱交換器 22、23 によってスタック 21 にその内壁面に沿う一定の温度勾配を生じさせるようになっている。高温側熱交換器は、多数枚の薄肉金属板が微小間隔で配設されたものであり、周囲を図示しないヒータ等で高温、例えば 580°K に保っている。また、常温熱交換器である低温側熱交換器も、例えば多数枚の薄肉金属板が微小間隔で配置されたもの、あるいはスタックと類似する構造のものであって、その周囲を常温冷却水等で冷却して、例えば室温付近の 290°K に保つものである。前記高温側熱交換器及びヒータは本発明にいう高温側熱源を構成しており、低温側熱交換器及び常温冷却水等は低温側熱源を構成している。なお、熱交換器 22、23 の外壁は、例えば銅合金からなる。

【0019】直線管部 12 には蓄冷器 31 が設けられていて、この蓄冷器は熱容量の大きい蓄冷材からなる。蓄冷材としては、例えば、ステンレス鋼、銅、鉛等を用いてメッシュ状、球状、板状、板を丸めた形状、エッチング処理された板等多様な物が利用できる。図 1 において、蓄冷器は、一対のうち他方の直線管部 12 に設けた所定の蓄冷領域に直線管部 12 の軸線と平行で、かつ、配管 12 内の通路より狭い複数のガス通路を形成する所定長さのものである。この蓄冷器に対し進行波の進行方向下流側には、高温側熱交換器 32 が隣接して設けられており、蓄冷器に対し前記進行波の進行方向上流側は低温側熱交換器 33 が隣接して設けられている。これら蓄冷器 31 及び熱交換器 32、33 のうち、蓄冷器はスタック 21 からの進行波が伝播され、高温側熱交換器 32 から内部に進入してきたとき、低温端側から高温端側への熱移送、すなわち、低温側熱交換器 33 による熱の汲み上げと高温側熱交換器 32 による熱の放出作用とを助長するヒートポンプ 30 を構成している。

【0020】ここで、圧力振動発生手段であるスタック 21 の発振条件について説明する。スタックは細い繊維を金網に編組した例で示すことが出来る多孔質積層体等からなり、作業ガスが流れる際の平行通路の流路半径を  $r$ （数百 ~ 数十  $\mu$  m）、作動ガスの角周波数を  $\omega$ 、スタック高温側熱交換温度を  $T_h$ 、スタック低温側熱交換温度を  $T_c$ 、温度拡散係数を  $\alpha$ 、温度緩和時間を  $\tau$  (=  $r$

$\tau / 2 \alpha$ ) として、実験結果に基づき、振動発生の条件を熱交換の程度を示す無次元量  $\omega \tau$  と温度比  $T_h / T_c$  でまとめると、図3に示すような進行波についての曲線が得られる。図2は、図3の定在波等の観測に供した圧力振動発生手段(スタック)又は共鳴器の概略図である。共鳴器として使用する場合は回路10の中に仕切板19を設けて両端が閉止された配管の状態からなり、共鳴器はスタック21と高温側熱源22と低温側熱源23とを備えている。また圧力振動発生手段として用いる場合は、図1の場合と同様に、回路には仕切板が不要である。圧力振動発生手段でも共鳴器でも、いずれの場合でも気体を封入し、それぞれ高温側熱源と低温側熱源とを所定の温度に保つとき、図3に示す特定の条件を満たせば、スタックに自励的な発振が起こる。スタックにより発振が起こるとき、共鳴器では、仕切板の位置を波動の節とする定在波が主として発生し、回路全長を例えれば、半波長、全波長、2波長……とする振動が生じている。これに対し、仕切板のない場合は定在波が先ず発生し、これが増幅されて進行波の発生を促すようである。図3は、上述の共鳴器の実験結果である定在波の  $\omega \tau$  と温度比  $T_h / T_c$  を示すスタビリティー曲線も併記している。なお、これらの定在波及び進行波の観測は、図2に示されているように光源43と超小型のレーザー光線を用いたドップラー速度計(LDV)とを配管の一部を透明なガラス管41に置き換えて実施し、更に圧力計等を回路中に配置して  $10 \sim 100$  マイクロ秒( $\mu s$ )単位の計測を行った結果に基づくものである。図3から明らかのように、進行波は  $\omega \tau = 1 \sim 2$  近傍において最も少ない温度比(少ない入力)で発振する。また、  $\omega \tau = 0.2 \sim 20$  の範囲内にある場合と範囲外の場合では、範囲内にある方が少ない温度比で発振する。さらに極端に  $\omega \tau$  を大きく(例えば  $1000$  以上)したり、極端に小さく( $0.001$  以下)した場合には、有効な進行波を得ることができない。また、定在波は進行波に比べて極小となる  $\omega \tau$  値がやや大きく( $3 \sim 4$ )、温度比  $T_h / T_c$  の極小値も高いことが判明した。この安定した定在波及び進行波を発生せしめる条件は、図3に示したとおりであって、本発明者等により初めて明らかにできたものである。図1の本発明のループ管気柱からなる音響波動冷凍機に関する説明を再び行う。

【0021】図面のような構成において、高温側熱交換器22を介してスタック21の高温側に高温の熱が供給されるとともに、スタック21の低温側から低温側熱交換器23を介して熱の放出がなされるとき、スタックの両端に所定の大きな温度差( $T_h - T_c$ )が生じて、スタックの各通路壁に所定の温度勾配が生じる。そして、これに起因して、スタック内部の狭い平行通路内に入っている作業ガスが、作業ガスの圧力と配管10の長さとに応じた発振周波数で発振する。そして、スタック21では熱音響効果で熱が振動のエネルギーに変換され、定

在波及び進行波が生じる。この定在波及び進行波の圧力変動により蓄冷器に優れた蓄冷効果をもたらす。言い換えると、圧縮機等を用いることなく、作業ガスに冷凍サイクルに必要な圧力変動を生じさせることができ、コンパクトな装置で、冷凍を行うことができる。

【0022】ここで、本発明のループ管気柱音響波動冷凍機の好ましい要件について補説する。本発明装置では、スタック21を配設する所定領域が一方の直線管部11の軸線方向中央位置から外れた位置(片寄せ位置)10にあり、無端の管路10をその長手方向両側に対称に区分する対称中心の片側に位置させていることから、圧力振動発生手段によって冷凍に強く寄与し得るような進行波を発生させることができると推測される。このスタックの好ましい位置は、図1の配管の場合、直線管12と連結管13において、両者の連結部の中心位置(それぞれの軸の交点)を始点とするとき回路全長(全長を1.00とする)の約0.28の位置に存在する。ところで、蓄冷器とスタックとの相対位置関係についても従来技術では明らかにされていない。もっとも、従来技術では自励的な発振が起きたことがなく、発振条件が不明であることは当然である。図4に示したように、蓄冷器とスタックとの相対間な最適位置を実験的に決めることができる。回路内に極めて小型の圧力センサ(測定器)42等を配し、作業ガスの圧力の変動を通して、進行波の伝搬速度、蓄冷器とスタックとの距離(ある位置を起点に  $X_n = 0$  とし、反時計廻りに進めて回路全長を  $X_n = 1$  とする)を変数として、回路における最適位置を探求した。回路  $X_n$  に沿った封入気体の圧力変動が、スタックの近傍に第1のピークがあり、更に回路全長の約30  $1/2$ (回路全長の約0.50)進んだ位置に第2のピークがある図4の場合に、蓄冷器の中心がこの第2ピークを過ぎた位置となるように蓄冷器を設けるとよい。言い換えると、蓄冷器とスタックとの間隔は、0.55 ± 0.10程度となるように距離を描くとき、エネルギー的に蓄冷効果が最大となる。この理由は、定在波による熱のポンピングは圧力振幅の大きくなる方向に向かい、進行波は進行波の進む方向と逆に成る。粘性損失は圧力振幅が最大となる位置で最小となるので、両者の効果の和が最大となる第2の圧力振幅のピークを少し過ぎたあたりに蓄冷器を配置するのが最適となるためである。

【0023】本発明では、圧縮機等を用いることなくヒートポンプによる冷却作用をなすことができ、しかも、配管を全体として立体的に構成することが可能であることは云うまでもなく、全体をコンパクトにしながら十分な配管長さを確保することができ、回路が長い程、発生する振動の周波数が低く、冷凍作用が高められる利点がある。

【0024】【実施例】図1に示した一実施形態と同様な構成の配管50について、配管10の直線管部11、12の長さ  $L_a$  を

1190mmとし、配管の連結管部13、14の長さLbを275mmとしたものであって、配管の内径を41.5mm、及び配管の肉厚を0.5mmとした。直線管部11、12と連結管部13、14との間のコーナー部の曲率半径Rを50mmとなるように接続した。また、スタック21の長さを40mmとし、スタックの径寸法を40mmとしたものであって、その際に使用したスタックのセルサイズは#1500(1500個/i<sup>n</sup>)である。高温側熱交換器22は直径1mmのシースヒータであって、全長1000mm、30Ω(電気抵抗値)のものであり、低温側熱交換器23は長さ10mmの鋼板からなるフィンを21枚収束して径37mmに構成したものである。蓄冷器31は、長さ80mmで、径40mmのものであって、ステンレス鋼製のメッシュを組み合わせて充填使用した。蓄冷器に接する熱交換器32・33は高温・低温側共に、スタックの低温側熱交換器と同様なフィン型で、ワイヤーカットで加工した長さ軸方向15mm、フィン厚さ1mm、間隙0.5mm、内径37.5mmのものである。封入ガスは窒素、空気等を使用したが、ヘリウムとアルゴンとの混合気体(0.25MPa)が冷却機の用途には最適であった。なお、図1の定常的運転ではシースヒータに200W以下の電力を供し、蓄冷器の温度を室温(28℃)からマイナス24℃(249K)まで降下せしめることができた。

【0025】別に、図2の回路の薄い仕切板19を挿入した共鳴器について説明する。

【0026】作業ガスとして、封入圧力0.1MPaの空気を充填し、スタック両側の熱交換器の低温側における冷却温度Tcを290K(水冷)とし、高温側における加熱温度Thを350Kから約880Kまで変化させて、熱エネルギーの供給・放出を行って、図3のスタビリティ曲線を実験的に得ている。Tcが臨界温度(しきい値)を超えると、自励発振が起こることが観察された。

【0027】なお、図2の回路は長さ40mmのスタックを有し、内径20.1mm、全周2.58m(ただしガラス管部分41は内径が18.5mm)のものである。発生した定在波の周波数は268Hzであった。仕切板を除いて図3に示した進行波に関するスタビリティ曲線を得た。

【0028】

【発明の効果】本発明に係るループ管気柱音響波動冷凍機は、配管、スタック及び蓄冷器を非対称的に配置する

と共に、封入ガスの流れを直線管の旋回によって、定在波及び進行波を発生し易く設計しているので、本発明の装置によれば、圧縮機等を用いることなく、作業ガスの圧力変動を生じさせることができ、コンパクトで耐久性に優れた音響波動冷凍機を提供することができる。さらに、本発明に係るループ管気柱音響波動冷凍機は、圧力振動発生手段によって冷凍に強く寄与する定在波及び進行波を発生させているので、ヒートポンプによる効率の良い蓄冷・冷凍と熱の放出とを行うことができる。また、配管の径を部分的に太くすれば、或いは配管長を大幅に拡大できれば、発振周波数を低くすることが可能となり、熱効率の良い波動冷凍機を得ることができる。

#### 【0029】

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例であって、スタックと蓄冷器と配管で構成されたループ管気柱音響波動冷凍機の概略図である。

【図2】 スタックにおいて発生する定在波を測定するための共鳴器の概略図である。閉止機能を持つ仕切板を外すと、進行波も発生する。

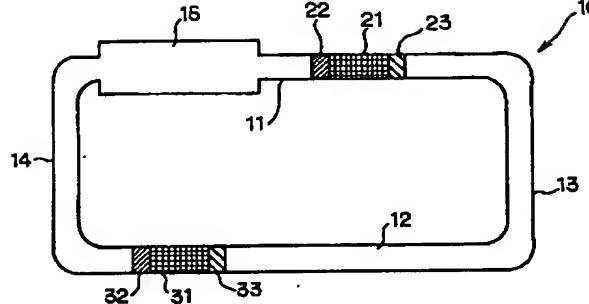
【図3】 定在波(●)及び進行波(○)における $\omega_t$ と $T_h/T_c$ との関係を示すスタビリティ曲線である。上に凹の曲線の上側が発振領域であって、曲線の下方は発振の起こらない領域である。

【図4】 進行波及び定材波の併存する場合における回路位置と圧力変化挙動とを示す位置と圧力変動とのグラフである。蓄冷器の最適位置Rは図中矢印(↓)で示している。

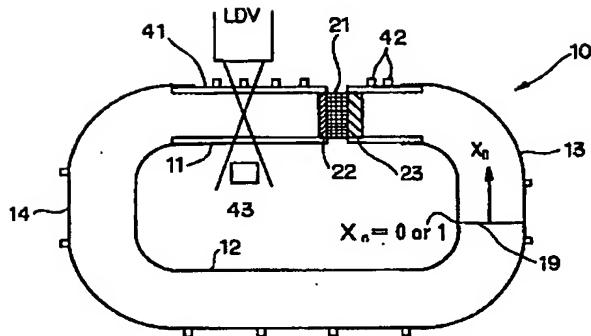
##### 【符号の説明】

30	10	配管(配管の回路)
	11、12	直線管部
	13、14	連結管部
	15	連結管の太径部分
	19	仕切板
	21	スタック
	22	高温側熱交換器
	23	低温側熱交換器
	31	蓄冷器
	32	高温側熱交換器
40	33	低温側熱交換器
	41	ガラス管
	42	圧力測定器
	43	光源

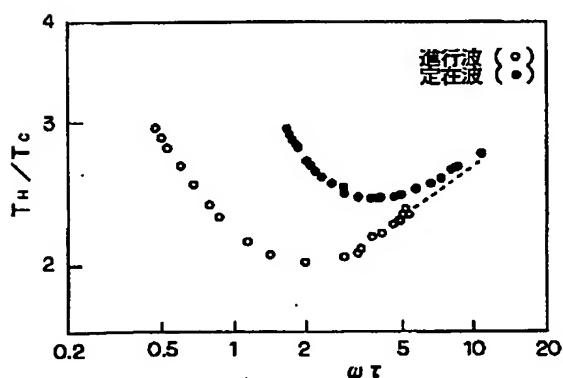
【図1】



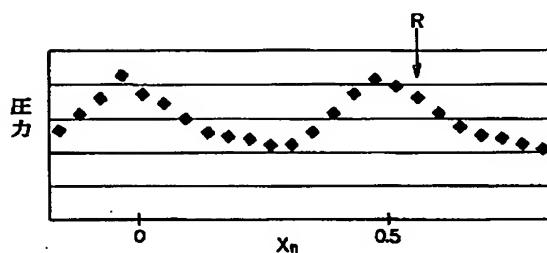
【図2】



【図3】



【図4】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年8月30日(1999.8.30)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一の高温側熱源及び一の低温側熱源に挟まれたスタックトと、他の高温側熱源及び他の低温側熱源に挟まれた蓄冷器と、一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管と、により形成される回路

に気体を封入し、

前記スタックにおいて前記封入気体に定在波及び進行波を自励的に発生させて前記蓄冷器を冷却せしめてなるループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項2】一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管において、該連結管が直線部分を有する形状からなる請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項3】一対の直線管部及び該直線管部の両端を相互に連結する一対の連結管部を有する配管において、スタックと蓄冷器との間の配管の一部が他の部分に較べてその内径を大きくなしたことを特徴とする請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項4】直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、スタックの中心が回路全長の0.28±0.05の位置となるように該スタックを配することを特徴とする請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項5】回路全長を1.00とするとき、回路に沿った封入気体の圧力変動が、スタックの近傍に第1のピークがあり、更に回路全長の約1/2(回路全長の約0.50)進んだ位置に第2のピークがある場合に、蓄冷器の中心が該第2ピークを過ぎた位置となるように該蓄冷器を設けることを特徴とする請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項6】回路に封入する気体が、窒素、ヘリウム、アルゴン、ヘリウムとアルゴンとの混合物、又は加圧空気から選ばれた気体である請求項1乃至5のいずれかであるループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項7】スタックの材質がセラミックス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも1種からなり、その $\omega r$ が0.2~2.0の範囲と成るように構成されたことを特徴とする請求項1に記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【請求項8】高温側熱源と低温側熱源に基づく熱エネルギーを、回路に封入された気体の圧力振動に変換するスタックによって、自励的に、前記回路の回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む圧力振動(共鳴)を発生せしめ得る定在波及び進行波発生装置を、要すれば蓄冷器と共に、備えてなる請求項1乃至7の何れに記載のループ管気柱音響波動冷凍機。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

\*

\* 【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正内容】

【0012】更に、請求項4に記載の発明は、請求項1の発明において、直線管部の一端と連結管部の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点とし、回路全長を1.00とするとき、スタックの中心が回路全長の回路全長の0.28±0.05の位置となるようにスタックを配置する。この条件と、スタックにおける高温側熱源及び低温側熱源のそれぞれの温度が適切であるとき、初めて効率のよい自励振動が生じる。加えて、請求項5の発明は、請求項1の発明において、回路全長を1.00とするとき、回路に沿った封入気体の圧力変動が、スタックの近傍に第1のピークがあり、更に回路全長の1/2(回路全長の0.50)進んだ位置に第2のピークがある場合に、請求項1に記載の蓄冷器の中心位置を該第2ピークを過ぎた付近に設けることを特徴とするものであって、この条件を満たすとき、蓄冷器の配置が最適となり、冷却効率が一層高められる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正内容】

【0014】請求項7に記載の発明は、請求項1の発明において、スタックを形成する通気性多孔質物体或いは積層体の材質はセラミックス、焼結金属、金網、金属製不織布の少なくとも1種を、単独又は組み合せて、集積・積層して用いて、その $\omega r$ が0.2~2.0の範囲と成るように構成されたことを特徴とする。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正内容】

【0015】請求項8に記載の発明は、請求項1乃至7の何れかに從属するものであって、高温側熱源と低温側熱源に基づく熱エネルギーを、回路に封入された気体の圧力振動に変換するスタックによって、非等温的に、自励的に、前記回路の回路長に応じた周波数からなる定在波及び進行波を含む圧力振動(共鳴)を発生せしめ得る進行波発生装置に関し、この発振装置を要すれば蓄冷器と共に備えることを特徴とする。

フロントページの続き

(72)発明者 富永 昭

茨城県土浦市乙戸南1丁目17番21号

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-088378  
 (43)Date of publication of application : 31.03.2000

(51)Int.Cl. F25B 9/00

(21)Application number : 10-270291 (71)Applicant : IDOTAI TSUSHIN SENTAN  
 GIJUTSU KENKYUSHO:KK  
 (22)Date of filing : 24.09.1998 (72)Inventor : HAGIWARA YASUMASA  
 ITO MASAATSU  
 YAZAKI TAICHI  
 TOMINAGA AKIRA

(30)Priority  
 Priority number : 10204011 Priority date : 17.07.1998 Priority country : JP

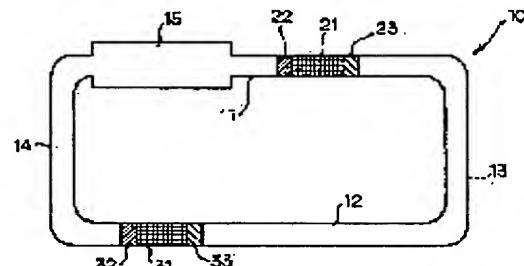
## (54) LOOP TUBE AIR PIPE ACOUSTIC WAVE REFRIGERATOR

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a self-excited oscillator for generating a standing wave having a large pressure vibration and a traveling wave for substantially refrigerating a refrigerator and a loop tube air pipe acoustic wave refrigerator using the waves.

SOLUTION: The loop tube air pipe acoustic wave refrigerator inserts a stack 21 sandwiched between a high temperature side heat exchanger 22 and a low temperature side heat exchanger 23 into piping 10 for sealing gas, arranges a cold heat storage unit 31 together with a high temperature side heat exchanger 32 and a low temperature side heat exchanger 33 at asymmetrical positions with the stack to form a circuit, propagates a standing wave and a traveling wave generated in a self-excited manner from the sealed gas in the stack via the piping, simultaneously cool stores and refrigerates the unit 31 and smoothly radiates.

Accordingly, since a pressure change of working gas can be brought out without using a compressor or the like, the loop tube air pipe acoustic wave refrigeration by a thermoacoustic operation needing no maintenance can be provided.



**\* NOTICES \***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1]A stack inserted into a high temperature side heat source of 1, and the low temperature side heat source of 1, and regenerator inserted into other high temperature side heat sources and other low temperature side heat sources, A loop-pipes air column sound wave-motion freezer which encloses a gas with a circuit which resembles piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually, and is formed more, makes said enclosure gas generate a standing wave and a progressive wave in self-excitation in said stack, and makes it come to cool said regenerator.

[Claim 2]The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 which consists of shape in which this interconnecting tube has a straight-line portion in piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually.

[Claim 3]The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 with which a part of piping between a stack and regenerator is characterized by making the inside diameter greatly compared with other portions in piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually.

[Claim 4]A loop-pipes air column sound wave-motion freezer allotting this stack so that the center of a stack may serve as a position of  $0.28**0.05$  of a circuit overall length when making an intersection of each medial axis when an end of a straight-line tube part and an end of an interconnecting-tube part are connected into the starting point of a circuit and setting a circuit overall length to 1.00.

[Claim 5]When setting a circuit overall length to 1.00, pressure fluctuation of an enclosure gas along a circuit, The 1st peak is near the stack, and also it is about 1/2 of a circuit overall length. A loop-pipes air column sound wave-motion freezer providing this regenerator so that the center of the regenerator according to claim 1 may serve as a position which passed over this 2nd peak, when an advanced (about 0.50 of a circuit overall length) position has the 2nd peak.

[Claim 6]A loop-pipes air column sound wave-motion freezer which is either of claims 1 thru/or 5 whose gases enclosed with a circuit are gases chosen from a mixture of nitrogen, helium, argon, and helium and argon, or application-of-pressure air.

[Claim 7]A loop-pipes air column sound wave-motion freezer constituting so that construction material of a stack may consist of at least one sort of ceramics, a sintered metal, a wire gauze, and metal nonwoven fabrics and the omegatau may change with the range of 0.2-20.

[Claim 8]By a stack which changes thermal energy based on a high temperature side heat source and the low temperature side heat source into pressure vibration of a gas enclosed with a circuit. A loop-pipes air column sound wave-motion freezer which will be provided with them with

regenerator if a standing wave and a progressive wave generator which may be made to generate pressure vibration (resonance) which includes a standing wave and a progressive wave which consist of frequency according to circuit length of said circuit in self-excitation are required.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Field of the Invention] This invention relates to the loop-pipes air column sound wave-motion freezer which makes the regenerator which brought resonance (pressure vibration) to the heat sound refrigeration circuit including piping, and was provided in it according to the thermoacoustic effect in the circuit using the progressive wave etc. which were generated by the circuit internal loop of piping filled up with the predetermined gas (work gas) cool.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] It is known for many years as a phenomenon out of which a sound comes that sound may arise under the influence of heat, when hot spherical glass is attached at the tip of a cold stem, for example by glass-blowing \*\*\*\*.

This is checked by a sound being emitted by the thermoacoustic effect from the glass tube, if heat is applied to the pars basilaris ossis occipitalis of the glassware of the shape of a round bottom flask called "Soundhauss tube", It is checked by inserting in the inside of the glass tube the stack which forms porosity or multilayer narrow space that the sound effects by the above-mentioned heat drive increase.

[0003] On the other hand, with the heat given from the outside of a container using such a thermoacoustic effect. The work gas with which it filled up beforehand in the container is made to produce pressure vibration (heat sound work). This heat sound work. Heat sound freezers, such as Biya Qu Ra who make it convert into heat and made the cooling action, are also known (G. the 1147th page of W.Swift "Thermoacoustic engines" 1988 Acoustical Society of America, FIG.3).

[0004] Biya Qu Ra provides a spherical part in the one end side of the resonance tube with which one end carried out the opening and the other end was stopped.

The motor and heat pump which consist of a heat exchanger by the side of the elevated temperature located in a stack and its both sides, respectively and low temperature in the middle of the resonance tube on the other hand are formed, In the resonant frequency of a resonance tube, autoexcitation (self-excitation) of the pressure vibration (standing wave) is carried out to internal working medium by the motor, the pressure vibration is further given to the heat pump which works for reverse with said motor, and a cooling action is made by the low temperature side heat exchanger.

[0005] SEPAR (Ceperley) has proposed the heat sound freezer of the progressive wave type of seasonal prevalence which formed the heat sound production means so that it may lose the piston to a Stirling engine. The motor as a pressure vibration generating means which consists of a heat exchanger by the side of the elevated temperature located in the middle position where this freezer bisects that piping symmetrically in the middle of looped shape piping at a stack and

its both sides, and low temperature, Forming the heat pump which has a heat exchanger by the side of the elevated temperature located in regenerator (heat regenerator) and its both sides, and low temperature and by which said motor works for reverse, and performing hot thermal energy supply on said motor. Heat can be pumped up from the low temperature side to the elevated-temperature side heat exchanger by said heat pump, and a cooling action can be made to perform.

[0006]However, there is no report that the trial which embodies the proposal of the above-mentioned Ceperley was successful. It adds, about such a progressive wave \*\*\*\* generator, the report do not oscillate theoretically or in practice should do by ACHIRE (Atchley) -- being (Third Joint Meeting, ASA and ASJ Dec, 1996 Honolulu, HI), and, Recognition that it was impossible to make it oscillate was being circulated also at the society.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]Although Atchley was inserting the stack inserted into the position of the center of inversion in the piping circuits similar to a circle type or it by the heat exchanger which has a heat source of an elevated temperature and low temperature, the freezer using the above thermoacoustic effects, for example, The progressive wave which can contribute to refrigeration strongly also in any was not able to be generated (oscillation). Therefore, the actual condition is that the compressor is generally used as a means for fluctuating the pressure of working medium.

[0008]However, in the freezer using the compressor of the piston type, to a flexible region, maintenance work, such as a periodical parts replacement, is indispensable, and cannot run continuously a freezer for a long time.

[0009]On the other hand, without using a mechanical compressor, an electromagnetic valve, etc., the pressure vibration generating means by a thermoacoustic effect can make work gas generate the pressure vibration of sine wave shape, and is advantageous in endurance or the field of miniaturization. However, it was the biggest technical problem how the device which can be oscillated is created by there being still no example oscillated actually. A maintenance provides the unnecessary wave-motion freezer excellent in endurance substantially by the ability to use the thermoacoustic effect which was made that this invention should solve the above-mentioned conventional technical problem, and can generate the standing wave and progressive wave which contribute to refrigeration of a pulse tube refrigerator etc. strongly.

[0010]

[Means for Solving the Problem]This invention by a stack which changes thermal energy based on a high temperature side heat source and the low temperature side heat source into pressure vibration of a gas enclosed with a circuit. It is a loop-pipes air column sound wave-motion freezer provided with a generator of a standing wave which may make pressure vibration (resonance) which includes a standing wave and a progressive wave which consist of frequency according to circuit length of said circuit in self-excitation generate, and a progressive wave with regenerator. Although a standing wave or a progressive wave which can contribute to a frozen operation strongly were not generated in a motor or heat pump of conventional technology, In this invention, conditions of an autoexcitation oscillation in \*\* stack were discovered, and this was applied, \*\* A stack and regenerator have been arranged asymmetrically, moreover, a straight-line tube part and an interconnecting-tube part were provided in piping, and a flow of an enclosure gas built rectilinear propagation and the state of circling almost right-angled, and it was easy to generate and succeeded in a standing wave and a progressive wave, \*\* Succeed in development of operating a prime mover (motor) in non-isothermal, and the first loop-pipes air column sound wave-motion freezer for it to be practical in be alike.

[0011]If each claim is explained below, first an invention concerning claim 1, A generating means of a standing wave which becomes piping which enclosed a gas (work gas) from a stack inserted into a high temperature side heat source and the low temperature side heat source, and a progressive wave, It is a sound wave-motion freezer which considers an cold accumulating

means inserted into other high temperature side heat sources and the low temperature side heat source as main composition, It is connected to a position via said piping, and a stack and an cold accumulating means form a circuit of work gas, Thermal energy given to work gas is changed into a pressure by stack based on a heat source which produces and cheats out of a predetermined temperature gradient put on stack both ends, and self-excitation vibration arises from a pressure to change. Vibration (oscillation) includes a standing wave and a progressive wave which consist of frequency according to circuit length. A generated progressive wave advances all over a circuit from a high temperature side heat source of 1, results in regenerator through other high temperature side heat sources, and brings about a sound wave-motion refrigeration function as a progressive wave with sufficient frozen operation. Next, in piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually, by making this interconnecting tube into shape which has a linear shape pipe portion, an invention of claim 2 specifies shape of piping so that it may be easy to produce a standing wave in a stack. In order to make a stable progressive wave which contributes to refrigeration generate, existence of a standing wave is also indispensable and piping shape shape and a straight-line pipe portion and a linear shape interconnecting-tube portion cross at right angles is especially useful to a sound wave-motion refrigeration function. In piping which has an interconnecting-tube part of a couple by which an invention of claim 3 connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually, Compared with a portion of others [ piping / a part of / which connects between a stack and regenerators ], by being characterized by the inside diameter being large, in this way, if a portion with a thick path is provided at the time of the same pipeline length, oscillating frequency can be made low. For this reason, the optimal oscillating frequency for refrigeration is realizable with shorter pipeline length. Pipeline length is a big element which governs occupied volume, and reduction of pipeline length contributes to a miniaturization of a \*\*\*\*\* freezer strongly.

[0012]When making an intersection of each medial axis when an end of a straight-line tube part and an end of an interconnecting-tube part are connected into the starting point of a circuit and setting a circuit overall length to 1.00, the invention according to claim 4 arranges a stack so that the center of a stack may serve as a position of  $0.28*0.05$  of a circuit overall length of a circuit overall length. When each temperature of this condition, a high temperature side heat source in a stack, and the low temperature side heat source is suitable, an efficient self-excited vibration arises for the first time. In addition, pressure fluctuation of an enclosure gas which met a circuit when an invention of claim 5 set a circuit overall length to 1.00, The 1st peak is near the stack, and also it is one half of circuit overall lengths (0.50 of a circuit overall length). When an advanced position has the 2nd peak, When fulfilling this condition by being characterized by establishing a center position of the regenerator according to claim 1 in the neighborhood which passed over this 2nd peak, arrangement of regenerator becomes the optimal and cooling efficiency is raised further.

[0013]A gas which encloses with a circuit an invention of claim 6 which shows desirable conditions uses a mixture of nitrogen, helium, argon, and helium and argon, or air, and a refrigeration function is improved [ as a result ] further.

[0014]Construction material of a breathability porosity object in which the invention according to claim 7 forms a stack, or a layered product Ceramics, At least one sort of a sintered metal, a wire gauze, and metal nonwoven fabrics is characterized by independent or having accumulated and laminated [ combined and ], having used, and being constituted so that the omegatau may change with the range of 0.2-20.

[0015]The invention according to claim 8 by a stack which changes thermal energy based on a high temperature side heat source and the low temperature side heat source into pressure vibration of a gas enclosed with a circuit. About a progressive wave generator which may be made to generate pressure vibration (resonance) which includes a standing wave and a

progressive wave which consist of frequency according to circuit length of said circuit in self-excitation in non-isothermal, if this oscillation device is required, it will have with regenerator.

[0016]

[Embodiment of the Invention]It explains referring to an accompanying drawing for the desirable embodiment of this invention hereafter.

[0017]Drawing 1 is a figure showing one embodiment of the loop-pipes air column sound wave-motion freezer concerning this invention. In drawing 1, 10 shows a circuit including piping and inactive gas (gas), such as nitrogen, is enclosed with the circuit as predetermined work gas. This work gas is a pressurization state of about 0.1–1.0 MPa of absolute pressure, for example, although the ordinary pressure also operates. Work gas can use the mixture of nitrogen, helium, argon, and helium and argon, etc., and what mixed helium and argon at about 1:1 – the rate of a volume ratio of the abbreviation 3:1 especially can raise refrigeration efficiency. Since the progressive wave generator by work gas does not have the necessity for a member of bringing about wear like a piston or a valve, there is an advantage in which a maintenance forms an unnecessary engine substantially. As a material which can be used for piping, it is a thing of the circular section which consists of stainless steel, for example, It has the parallel straight-line tube parts 11 and 12 of length La of a couple and the interconnecting-tube parts 13 and 14 of the length Lb of the almost parallel couple mutually connected with the both ends of these straight-lines tube parts 11 and 12 which extend in the longitudinal direction of the whole piping. The portion of the straight-line tube part 15 constitutes the tube diameter thickly. As a result, when an enclosure gas vibrates by autoexcitation so that it may mention later, that frequency becomes low (comparing, when a tube diameter is uniform). The oscillation of low frequency is more advantageous in thermal energy in the sound wave-motion freezer of this invention.

[0018]And the pressure vibration generating means as a motor which makes work gas produce pressure fluctuation is provided in the predetermined region of one straight-line tube part 11. The stack 21 of the predetermined length which is parallel to the axis of the straight-line tube part 11 as for this pressure vibration generating means, and forms two or more parallel passages narrower than the passage 11 in the piping 10, It has the elevated-temperature side heat exchanger 22 adjoined and provided in the left-in-the-figure side of the stack 21, and the low temperature side heat exchanger 23 adjoined and provided in the figure Nakamigi side of the stack 21. The piping 10 is formed in the approximately rectangle as a whole, and the piping 10 and the stack 21 form the symmetrical un-circular circuit to a predetermined object center (it is equivalent to the field which intersects perpendicularly with the straight-line tube parts 11 and 12 in the position of La/2). On the other hand, the arranging position of the stack 21 is a position brought near by one side so that the tube part length by the side of low temperature might be set to abbreviated La / 4 – abbreviation La / 3 from one end, for example in the straight-line tube part 11 of length La and the tube part length by the side of an elevated temperature might serve as –La – (2/3) –La from the other end (3/4). That is, the stack 21 is put aside and arranged to the object center of the circuit (only henceforth a circuit) of the work gas containing the piping 10 and the stack 21. One end of said straight-line tube part 11 and the other end are the intersections of the axis line of the straight-line tube part 11, and the axis line of the interconnecting-tube parts 13 and 14. What the stack 21 becomes from the ceramics of honeycomb structure which have many parallel parallel passages, for example, many — that by which the stainless steel mesh sheet metal of several sheets has been arranged with the minute space (about hundreds of micrometers), and the nonwoven fabric which gathered stainless steel textiles. Or it has two or more narrow passages which were filled up with the sintered metal etc. in the case and manufactured them, and the fixed temperature gradient which meets the stack 21 by the heat exchangers 22 and 23 at the internal surface is produced. the elevated-temperature side heat exchanger — many — the light-gage metal plate of several sheets is allocated with a minute space, and is maintaining at the elevated temperature, for example, 580

degrees K, with the heater etc. which do not illustrate the circumference. the low temperature side heat exchanger which is an ordinary temperature heat exchanger -- for example -- many -- the light-gage metal plate of several sheets is a thing arranged with the minute space, or a thing of a stack and a similar structure, and the circumference is cooled by ordinary temperature cooling water etc., for example, it keeps at 290 degrees K near a room temperature. Said elevated-temperature side heat exchanger and the heater constitute the high temperature side heat source said to this invention, and the low temperature side heat exchanger, ordinary temperature cooling water, etc. constitute the low temperature side heat source. The outer wall of the heat exchangers 22 and 23 consists of copper alloys, for example.

[0019]The regenerator 31 is formed in the straight-line tube part 12, and this regenerator consists of a cold reserving material with large calorific capacity. Various things, such as mesh state, a globular shape, tabular, shape where the board was rounded off, and a board by which the etching process was carried out, can be used, using stainless steel, copper, lead, etc. for example as a cold reserving material. In drawing 1, regenerator is a thing of the predetermined length which forms two or more gas passageways narrower than the passage in the piping 12 in the predetermined cool storage field established in the straight-line tube part 12 of another side among couples in parallel with the axis of the straight-line tube part 12. The elevated-temperature side heat exchanger 32 is adjoined and formed in the direction-of-movement downstream of the progressive wave to this regenerator, to regenerator, the low temperature side heat exchanger 33 adjoins, and the direction-of-movement upstream of said progressive wave is provided. When regenerator is spread among these regenerators 31 and the heat exchangers 32 and 33 by the progressive wave from the stack 21 and it has advanced into the inside from the elevated-temperature side heat exchanger 32, The heat pump 30 which promotes the heat transfer from the low temperature end side to the high temperature end side, i.e., pumping of the heat by the low temperature side heat exchanger 33 and the discharging action of the heat by the elevated-temperature side heat exchanger 32, is constituted.

[0020]Here, the oscillating condition of the stack 21 which is a pressure vibration generating means is explained. A stack consists of a porosity layered product etc. which can show thin textiles to a wire gauze in the example which carried out the braid, The channel radius of the parallel passage at the time of work gas flowing  $r$  (several 100- tens of micrometers), Set  $T_c$  and a temperature diffusion coefficient to  $\alpha$ , and temperature relaxation time is set [ the angular frequency of working medium /  $\omega$  and the stack elevated-temperature side heat exchange temperature ] to  $\tau = r^2 / 2\alpha$  for  $T_h$  and the stack low temperature side heat exchange temperature, If the conditions of a vibration generation are summarized based on an experimental result by dimensionless quantity  $\Omega\tau$  and thermal-ratio  $T_h/T_c$  which show the grade of heat exchange, the curve about a progressive wave as shown in drawing 3 will be obtained.

Drawing 2 is the schematic diagram of a pressure vibration generating means (stack) or a resonator with which observation of the standing wave of drawing 3, etc. was presented. When using it as a resonator, it consisted of a state of piping where formed the divider plate 19 into the circuit 10, and both ends were stopped, and the resonator is provided with the stack 21, the high temperature side heat source 22, and the low temperature side heat source 23. When using as a pressure vibration generating means, in a circuit, a divider plate is unnecessary like the case of drawing 1. If the specific conditions shown in drawing 3 are fulfilled when enclosing a gas and maintaining a high temperature side heat source and the low temperature side heat source at a predetermined temperature, respectively a pressure vibration generating means, a resonator, or in any case, a self-excitation oscillation will take place to a stack. When an oscillation takes place by a stack, in the resonator, the standing wave which uses the position of a divider plate as an undulatory paragraph mainly occurred, and vibration which makes a circuit overall length half-wave length, full wave length, and two wave ---- has arisen. It seems that on the other hand, a standing wave occurs first when there is no divider plate, this is amplified, and generating of a progressive wave is urged. Drawing 3 is also writing together the stability curve which shows

omegatau of the standing wave which is an experimental result of an above-mentioned resonator, and thermal-ratio  $Th/Tc$ . Observation of these standing waves and a progressive wave transposes a part of piping to the transparent glass tube 41, and carries out the light source 43 and the Doppler velocimeter (LDV) using micro laser beams as shown in drawing 2. It is based on the result of having arranged the pressure gauge etc. all over a circuit and having measured the unit for 10 to 100 microseconds (microsecond). A progressive wave is oscillated with fewest thermal ratios (little input) in about  $\tau=$  one to two omega so that clearly from drawing 3. The case where it is within the limits of  $\omega=0.2 - 20$ , and in a case of besides [the range], the direction in within the limits oscillates with few thermal ratios. When  $\omega$  is enlarged further extremely (1000 or more [for example, ]) or it is made extremely small (0.001 or less), an effective progressive wave cannot be acquired. It became clear that  $\omega$  value which serves as the minimum compared with a progressive wave was a little large (3-4), and the standing wave of the minimal value of thermal-ratio  $Th/Tc$  was also high. The conditions which make this stable standing wave and progressive wave generate are as having been shown in drawing 3, and will not be clearly made without this invention person etc. Explanation about the sound wave-motion freezer which consists of a loop-pipes air column of this invention of drawing 1 is given again.

[0021] In composition like a drawing, while hot heat is supplied to the elevated-temperature side of the stack 21 via the elevated-temperature side heat exchanger 22, When discharge of heat is made via the low temperature side heat exchanger 23 from the low temperature side of the stack 21, a big predetermined temperature gradient ( $Th-Tc$ ) arises to the both ends of a stack, and a predetermined temperature gradient arises in each passage wall of a stack. And it originates in this and the work gas which is contained in the narrow parallel passage inside a stack oscillates with the oscillating frequency according to the pressure of work gas, and the length of the piping 10. And in the stack 21, heat is changed into the energy of vibration by a thermoacoustic effect, and a standing wave and a progressive wave arise. The cool storage effect which was excellent in regenerator by the pressure fluctuation of this standing wave and a progressive wave is brought about. Without in other words using a compressor etc., work gas can be made to produce pressure fluctuation required for a refrigerating cycle, and it can freeze with a compact device.

[0022] Here, a supplementary explanation is given of the desirable requirements for the loop-pipes air column sound wave-motion freezer of this invention. The predetermined region which allocates the stack 21 is in the position (putting aside position) from which it separated from the axial direction middle position of one straight-line tube part 11 in this invention device. Since you are making it located in one side of a center of inversion which classifies the endless pipeline 10 symmetrically with the longitudinal direction both sides, it is surmised that the progressive wave which can contribute to refrigeration strongly by a pressure vibration generating means can be generated. In the case of piping of drawing 1, in the straight-line pipe 12 and the interconnecting tube 13, the desirable position of this stack exists in about 0.28 position of a circuit overall length (an overall length is set to 1.00), when making the center position (intersection of each axis) of both connecting part into the starting point. By the way, by conventional technology, it is not clarified about the relative position relation of regenerator and a stack. But a self-excitation oscillation has not broken out in conventional technology, and, naturally an oscillating condition is unknown. it was shown in drawing 4 --- as --- between the relativity of regenerator and a stack --- \*\* --- an optimal position can be decided experimentally. The very small pressure sensor (measuring instrument) 42 grade was allotted in the circuit, and it searched for the optimal position in a circuit through change of the pressure of work gas by making the propagation rate of a progressive wave, and distance (it advances to the circumference of an anti-clock with  $Xn=0$  with a certain position as the starting point, and a circuit overall length is set to  $Xn=1$ ) of regenerator and a stack into a variable. The 1st peak is near the stack, and also the pressure fluctuation of the enclosure gas along the circuit  $Xn$  is

about 1/2 of a circuit overall length (about 0.50 of a circuit overall length). When it is drawing 4 which has the 2nd peak in the advanced position, it is good to provide regenerator so that the center of regenerator may serve as a position which passed over this 2nd peak. In other words, as the interval of regenerator and a stack becomes about  $0.55 \times 0.10$ , the cool storage effect serves as the maximum in energy in distance at the time of \*\*\*. A progressive wave grows into the direction and reverse which a progressive wave follows toward the direction to which pumping of the heat according [ this reason ] to a standing wave becomes large [ pressure amplitude ]. Since a viscous loss serves as the minimum in the position from which pressure amplitude serves as the maximum, it is because the sum of both effect becomes the best [ arranging regenerator ] for the hit which passed over a little peak of the 2nd pressure amplitude used as the maximum.

[0023]The cooling action by heat pump can be made in this invention, without using a compressor etc., And sufficient piping length is securable, not saying that it is possible to constitute piping in three dimensions as a whole, and making the whole compact, the frequency of vibration to generate is low and there is an advantage to which a frozen operation is raised, so that a circuit is long.

[0024]

[Example]About piping of the same composition as one embodiment shown in drawing 1, length  $L_a$  of the straight-line tube parts 11 and 12 of the piping 10 was 1190 mm, the length  $L_b$  of the interconnecting-tube parts 13 and 14 of piping was 275 mm, and 41.5 mm and the thickness of piping were the inside diameter of piping 0.5 mm. The curvature radius  $R$  of the corner part between the straight-line tube parts 11 and 12 and the interconnecting-tube parts 13 and 14 was connected so that it might be set to 50 mm. The cell size of the stack which set the length of the stack 21 to 40 mm, set the diameter dimension of the stack to 40 mm, and was used on that occasion is #1500 (1500-piece [ /inch ]<sup>2</sup>). It is a sheath heater 1 mm in diameter, and the elevated-temperature side heat exchangers 22 are 1000 mm in overall length, and a 30 ohms (electric resistance value) thing, and the low temperature side heat exchanger 23 converges 21 fins which consist of a steel plate 10 mm in length, and they constitute it in path of 37 mm. The regenerator 31 was 80 mm in length, is a thing with a diameter of 40 mm and carried out restoration use combining the mesh made from stainless steel. The heat exchangers 32 and 33 which touch regenerator are the length shaft orientations of 15 mm, fin 1 mm in thickness, 0.5 mm of gaps, and the things 37.5 mm in inside diameter which are the same fin types as the low temperature side heat exchanger of a stack, and the elevated-temperature and low temperature side processed [ both ] by the wire cut. Although filler gas used nitrogen, air, etc., the gaseous mixture (0.25MPa) of helium and argon was the best for the use of a cooler. The sheath heater was able to be presented with the electric power not more than 200W, and the temperature of regenerator was able to be made to descend in steady operation of drawing 1 from a room temperature (28 \*\*) to minus 24\*\* (249K).

[0025]Independently, the resonator which inserted the thin divider plate 19 of the circuit of drawing 2 is explained.

[0026]As work gas, it is filled up with the air of charged pressure 0.1MPa, and they are stack both sides. It is referred to as cooling temperature  $T_c$  290K (water cooling) by the side of the low temperature of a heat exchanger, Cooking temperature  $T_h$  by the side of an elevated temperature was changed to 350K to about 880K, supply and discharge of thermal energy were performed, and the stability curve of drawing 3 has been obtained experimentally. When  $T_c$  exceeded critical temperature (threshold), it was observed that self-oscillation happens.

[0027]The circuit of drawing 2 has a stack 40 mm in length, and are 20.1 mm in inside diameter, and a thing of 2.58 m (an inside diameter however, the glass tube part 41. 18.5 mm) of perimeters. The frequency of the generated standing wave was 268 Hz. The stability curve about the progressive wave shown in drawing 3 except for the divider plate was obtained.

[0028]

[Effect of the Invention] The loop-pipes air column sound wave-motion freezer concerning this invention, Arrange piping, a stack, and regenerator asymmetrically, and since it was easy to generate and revolution of a straight-line pipe is designing the standing wave and the progressive wave, the flow of filler gas, According to the device of this invention, without using a compressor etc., the pressure fluctuation of work gas can be produced, it is compact and the sound wave-motion freezer excellent in endurance can be provided. Since the loop-pipes air column sound wave-motion freezer concerning this invention is generating the standing wave and progressive wave which contribute to refrigeration strongly by a pressure vibration generating means, it can perform efficient cool storage and refrigeration, and the discharge of heat by heat pump. If the path of piping is selectively made thick, or if piping length is substantially expandable, it becomes possible to make oscillating frequency low, and a wave-motion freezer with sufficient thermal efficiency can be obtained.

[0029]

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

**[Drawing 1]** It is one example of this invention and is a schematic diagram of the loop-pipes air column sound wave-motion freezer which comprised a stack, regenerator, and piping.

**[Drawing 2]** It is a schematic diagram of the resonator for measuring the standing wave generated in a stack. A progressive wave will also be generated if a divider plate with a stoppage function is removed.

**[Drawing 3]** It is a stability curve which shows the relation of  $\omega_{\text{g}}$  and  $T_h/T_c$  in standing wave (-) and progressive wave (). The curve upper part of concave is an oscillation region upwards, and a curved lower part is a field where an oscillation does not take place.

**[Drawing 4]** It is a graph of the position and pressure fluctuation which show a circuit position and a pressure variation action in case a progressive wave and \*\*\*\*\* coexist. Optimal position of regenerator The figure Nakaya seal (\*\*) shows R.

**[Description of Notations]**

- 10 Piping (circuit of piping)
- 11 and 12 Straight-line tube part
- 13 and 14 Interconnecting-tube part
- 15 The large diameter portion of an interconnecting tube
- 19 Divider plate
- 21 Stack
- 22 Elevated-temperature side heat exchanger
- 23 Low temperature side heat exchanger
- 31 Regenerator
- 32 Elevated-temperature side heat exchanger
- 33 Low temperature side heat exchanger
- 41 Glass tube
- 42 Pressure survey machine
- 43 Light source

---

**[Translation done.]**

**\* NOTICES \***

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**WRITTEN AMENDMENT**

---

----- [Written amendment]

[Filing date] August 30, Heisei 11 (1999.8.30)

[Amendment 1]

[Document to be Amended] Specification

[Item(s) to be Amended] Claim

[Method of Amendment] Change

[Proposed Amendment]

[Claim(s)]

[Claim 1] A stack inserted into a high temperature side heat source of 1, and the low temperature side heat source of 1.

Regenerator inserted into other high temperature side heat sources and other low temperature side heat sources,

A gas is enclosed with a circuit which resembles piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually, and is formed more,

A loop-pipes air column sound wave-motion freezer which makes said enclosure gas generate a standing wave and a progressive wave in self-excitation in said stack, and makes it come to cool said regenerator.

[Claim 2] The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 which consists of shape in which this interconnecting tube has a straight-line portion in piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually.

[Claim 3] The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 with which a part of piping between a stack and regenerator is characterized by making the inside diameter greatly compared with other portions in piping which has an interconnecting-tube part of a couple which connects both ends of a straight-line tube part of a couple, and this straight-line tube part mutually.

[Claim 4] When making an intersection of each medial axis when an end of a straight-line tube part and an end of an interconnecting-tube part are connected into the starting point of a circuit and setting a circuit overall length to 1.00, The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 allotting this stack so that the center of a stack may serve as a position of 0.28\*\*0.05 of a circuit overall length.

[Claim 5] When setting a circuit overall length to 1.00, pressure fluctuation of an enclosure gas along a circuit, The 1st peak is near the stack, and also it is about 1/2 of a circuit overall length. The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 providing this regenerator so that the center of regenerator may serve as a position which passed over this 2nd peak, when an advanced (about 0.50 of a circuit overall length) position has the 2nd peak.

[Claim 6]A loop-pipes air column sound wave-motion freezer which is either of claims 1 thru/or 5 whose gases enclosed with a circuit are gases chosen from a mixture of nitrogen, helium, argon, and helium and argon, or application-of-pressure air.

[Claim 7]The loop-pipes air column sound wave-motion freezer according to claim 1 constituting so that construction material of a stack may consist of at least one sort of ceramics, a sintered metal, a wire gauze, and metal nonwoven fabrics and the omegatau may change with the range of 0.2-20.

[Claim 8]By a stack which changes thermal energy based on a high temperature side heat source and the low temperature side heat source into pressure vibration of a gas enclosed with a circuit. A loop-pipes air column sound wave-motion freezer given in any of claims 1 thru/or 7 which will be provided with them with regenerator if a standing wave and a progressive wave generator which may be made to generate pressure vibration (resonance) which includes a standing wave and a progressive wave which consist of frequency according to circuit length of said circuit in self-excitation are required.

[The amendment 2]

[Document to be Amended]Specification

[Item(s) to be Amended]0012

[Method of Amendment]Change

[Proposed Amendment]

[0012]When the invention according to claim 4 makes the intersection of each medial axis when the end of a straight-line tube part and the end of an interconnecting-tube part are connected the starting point of a circuit in the invention of claim 1 and a circuit overall length is set to 1.00. A stack is arranged so that the center of a stack may serve as a position of  $0.28**0.05$  of the circuit overall length of a circuit overall length. When each temperature of this condition, the high temperature side heat source in a stack, and the low temperature side heat source is suitable, an efficient self-excited vibration arises for the first time. In addition, when the invention of claim 5 sets a circuit overall length to 1.00 in the invention of claim 1, The 1st peak has the pressure fluctuation of the enclosure gas along a circuit near the stack, 1/2 of a circuit overall length (0.50 of a circuit overall length) When fulfilling this condition by being characterized by establishing the center position of the regenerator according to claim 1 in the neighborhood which passed over this 2nd peak when the advanced position has the 2nd peak, Arrangement of regenerator becomes the optimal and cooling efficiency is raised further.

[Amendment 3]

[Document to be Amended]Specification

[Item(s) to be Amended]0014

[Method of Amendment]Change

[Proposed Amendment]

[0014]The construction material of the breathability porosity object in which the invention according to claim 7 forms a stack in the invention of claim 1, or a layered product Ceramics, At least one sort of a sintered metal, a wire gauze, and metal nonwoven fabrics is characterized by independent or having accumulated and laminated [ combined and ], having used, and being constituted so that the omegatau may change with the range of 0.2-20.

[Amendment 4]

[Document to be Amended]Specification

[Item(s) to be Amended]0015

[Method of Amendment]Change

[Proposed Amendment]

[0015]By the stack which the invention according to claim 8 is subordinate for any of claims 1 thru/or 7 being, and changes the thermal energy based on a high temperature side heat source and the low temperature side heat source into the pressure vibration of the gas enclosed with the circuit. About the progressive wave generator which may be made to generate the pressure

vibration (resonance) which includes the standing wave and progressive wave which consist of frequency according to the circuit length of said circuit in self-excitation in non-isothermal, if this oscillation device is required, it will have with regenerator.

---

[Translation done.]